

R. 3476-8

Sig. J. V. H.
A. 8

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL
SUBSECRETARÍA DEL AIRE

SERVICIO METEOROLÓGICO ESPAÑOL

Serie A, núm. 8.

**Las fluctuaciones simultáneas
del potencial eléctrico,
de la conductibilidad
y de la carga espacial del aire**

POR EL

PROFESOR DR. A. DUPERIER

Meteorólogo Jefe de la Sección de Investigaciones
Catedrático de Geofísica de la Facultad de Ciencias de Madrid

POR

J. M. VIDAL

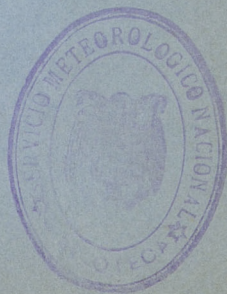
Auxiliar de Meteorología
Licenciado en Ciencias Físico-Químicas

Y POR

G. COLLADO

Meteorólogo
Licenciado en Ciencias Físicas y Ciencias Químicas

BARCELONA
IMPRENTA DE J. SOLSONA
SALMERÓN, 220 — TELÉFONO 12237
1938



LAS FLUCTUACIONES SIMULTÁNEAS DEL POTENCIAL ELÉCTRICO, DE LA CONDUCTIBILIDAD Y DE LA CARGA ESPACIAL DEL AIRE

POR

A. DUPERIER, J. M. VIDAL Y G. COLLADO

LAS FLUCTUACIONES SIMULTÁNEAS DEL POTENCIAL ELÉCTRICO, DE LA CONDUCTIBILIDAD Y DE LA CARGA ESPACIAL DEL AIRE

POR

A. DUPIERIER, J. M. VIDAL Y G. COLLADO

RÉSUMÉ :

Les auteurs ont entrepris l'étude comparative des fluctuations de plusieurs éléments électriques de l'atmosphère, en commençant par faire des mesures directes ainsi que simultanées de la conductibilité polaire de l'air et du potentiel à deux points différents. C'est la moyenne des lectures de potentiel faites pendant le temps consacré à la mesure de la conductibilité que l'on fait correspondre, à chaque point, à la valeur de cette dernière.

Ensuite, et d'une façon analogue, les variations de la charge d'espace ont été aussi étudiées en même temps que celles des autres facteurs.

Toutes les expériences ont été effectuées sur le toit de l'Université de Valence, placée au centre de la ville.

On constate des résultats obtenus, d'une part, que les fluctuations du potentiel sont absolument les mêmes aux deux points et sans connexion, pour la plupart, avec les propriétés de l'air ; et d'autre part, que l'amplitude des variations du champ est, d'ordinaire, plus grande que celle de la conductibilité.

Plusieurs autres particularités ont été réussies qui ne manquent certes pas d'intérêt. En particulier, le fait que les jours où le champ est très agité la conductibilité reste presque invariable, ferait songer à l'existence de grosses perturbations dans l'état électrique des hautes couches de l'atmosphère.

1. Hace algunos años, A. Duperier (1), en la estación eléctrica del Val Joyeux del Institut de Physique du Globe de Paris, emprendió el estudio de las fluctuaciones del campo eléctrico terrestre comparando las indicaciones del electrómetro Benndorf de la instalación de registro permanente de dicha estación con las obtenidas en los mismos instantes mediante el concurso de un colector de ionium y un electrómetro de Wulf de lectura directa, los cuales podían ser llevados a distancias variables de la toma de potencial de polonium de Val Joyeux. Más recientemente, A. Duperier y G. Collado, en los alrededores del observatorio meteorológico de Madrid y en el Aeródromo de Barajas, hicieron más precisa esta comparación utilizando dos instalaciones portátiles, con sendos colectores radiactivos y electrómetros de Wulf, que les permitieron extender el campo de experimentación con una mejor definición de la simultaneidad en las determinaciones.

(1) A. Duperier, Publ. del Serv. Met. Esp., serie A, n. 2, y An. Soc. Esp. de Fís. y Quím., mayo 1932.

El resultado de estos estudios fué comunicado en una nota a los Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris (2) y al Congreso Internacional de Geodesia y Geofísica que se reunió en Lisboa en Septiembre de 1933, y con él pudieron hacer ver los autores que las fluctuaciones del potencial del aire mostraban una regularidad que, contrariamente a lo que hasta entonces venía admitiéndose, resultaba difícil imputarlas a meras perturbaciones locales, y fueron por ello inducidos a buscar su causa en fenómenos de una mayor amplitud.

Faltaba, sin embargo, la comparación directa con aquellas perturbaciones del medio que pueden originar una alteración momentánea en el valor del campo, pues si bien en ciertas estaciones los registros concomitantes del potencial y de la conductibilidad, considerada como una de tales perturbaciones, permiten establecer la marcha conjunta de estas dos magnitudes, la comparación no es bastante precisa a causa principalmente de la falta de exactitud y simultaneidad en las determinaciones. A llenar esta laguna en lo posible tiende el trabajo de que aquí damos cuenta.

2. Desde que Appleton y sus colaboradores lograron demostrar experimentalmente la existencia de las altas regiones ionizadas de la atmósfera, previstas años antes por Kenelly y Heaviside, resulta cómodo en cuanto a los fenómenos eléctricos de la baja atmósfera se refiere asemejar la Tierra a un condensador, una de cuyas armaduras queda constituida por la parte sólida de la misma y la otra por aquella región de alta conductibilidad que la envuelve. En estas condiciones el aire interpuesto representa el dieléctrico.

Consideradas así las cosas, la existencia y el mantenimiento del campo eléctrico terrestre equivale a hablar de una diferencia de potencial permanente entre aquella capa de alta conductibilidad y el suelo. Esta diferencia de potencial una vez establecida se mantendría indefinidamente si ningún agente actuara provocando la descarga del condensador; pero la radiación cósmica, por una parte, y las sustancias radiactivas de la corteza terrestre, por otra, mantienen el aire interpuesto constantemente ionizado, y la corriente vertical que en virtud de ello se establece no tardaría más de unos cuantos minutos, con arreglo a los datos de la experiencia, en reducir a cero la diferencia de potencial inicial.

No obstante, y de acuerdo también con lo que la experiencia enseña, el campo terrestre conserva permanentemente su magnitud en toda la extensión de la superficie del Globo de igual modo que la corriente vertical, considerada en su valor medio, permanece poco más o menos invariable. Podemos, pues, en primera aproximación, y aunque no nos sea

(2) A. Duperier y G. Collado, Compt. Rend., junio 1933.

posible todavía adivinar el mecanismo en virtud del cual se renuevan las cargas arrastradas por el flujo, aceptar la imagen sencilla que resulta de considerar la atmósfera surcada por una corriente vertical mantenida por la diferencia de potencial constante entre la capa de Kenelly-Heaviside y el suelo. Designemos por V esta diferencia de potencial.

En estas condiciones, si E representa el campo y λ la conductibilidad del aire, la intensidad i de la corriente por unidad de superficie viene dada por la relación

$$i = \lambda E$$

Si se estableciera que i hubiera de permanecer constante, entonces el campo y la conductibilidad habrían de variar en sentido inverso. Pero si no es i sino V quien permanece constante, las variaciones de λ provocando alteraciones en la magnitud de i no implicarán forzosamente el cambio inverso de E . Junto al suelo, que es por otra parte donde son de esperar las mayores y más frecuentes variaciones de la conductibilidad por ser allí donde en mayor número actúan los agentes capaces de provocarlas, no habría por qué esperar, pues, en este último supuesto, que los mayores valores del campo correspondan siempre con los más pequeños de la conductibilidad. No obstante, si se considera que las alteraciones de λ en las capas más bajas de la atmósfera aun las más fuertes representan sólo un tanto por ciento muy pequeño de la resistencia total de la columna de aire que separa las armaduras del condensador, dado el escaso valor de las modificaciones que éstas por sí solas introducen en la corriente vertical, cabe esperar que la marcha de E junto al suelo tienda a correr paralelamente a la de $1/\lambda$.

Y claro está que si no hay nada que implique la invariabilidad de i ni la de V , no cabe esperar relación alguna de correspondencia entre el campo y la conductibilidad. Se hace necesario, consecuentemente, el análisis comparativo de estas dos magnitudes.

3. Con este fin, nosotros hemos hecho determinaciones de potencial en dos puntos separados por una distancia conveniente, midiendo simultáneamente la conductibilidad del aire interpuesto.

Para las primeras, se ha seguido un procedimiento equivalente al utilizado por A. Duperier (3) en investigaciones anteriores. Cada una de las tomas de potencial se hace por medio de un colector de ionium, en conexión eléctrica con un electrómetro bifilar de Wulf de lectura directa y situado a distancia suficiente para eliminar su influencia y la del observador. Con objeto de fijar el punto cuyo potencial

(3) Loc. Cit.

conviene medir, el colector correspondiente va colocado en el extremo de un sistema de varillas de vaquelita de longitud horizontal regulable, sistema que puede ser desplazado en sentido vertical ligándole a una corredera deslizante a lo largo de un poste de madera. Finalmente, a fin de asegurar el aislamiento, el colector no se apoya en la varilla de vaquelita directamente sino por intermedio de un cilindro de ámbar, el cual además va envuelto por un manguito de ebonita que le protege del polvo y de la lluvia.

Como en los dos puntos de observación los colectores tienen igual actividad y los electrómetros así como todos los órganos auxiliares poseen una capacidad eléctrica equivalente, las dos instalaciones tienen prácticamente la misma velocidad de nivelación de potencial.

Para medir la conductibilidad del aire interpuesto se empleó el método de Gerdien realizando la aspiración con el concurso de un pequeño motor eléctrico. La variación de carga del electrodo interior fué seguida con el concurso de electrómetros también de Wulf, utilizando un bifilar o un monofilar con arreglo a la sensibilidad requerida en cada caso. La conductibilidad fué, en efecto, unas veces determinada siguiendo el método de descarga y otras, en mayor número, por el método de cero o de carga que permite hacer la determinación en un tiempo mucho más corto.

La manera de operar fué la siguiente. Una vez elegidos los dos puntos de observación de manera que sus potenciales respectivos sean poco más o menos los mismos y procurando que el lugar de estacionamiento del Gerdien quede comprendido entre ellos, se procede a las lecturas sometiéndose a la pauta marcada por el observador de conductibilidad. Cuando éste pone en marcha su electrómetro y cada vez que los hilos pasan por lugares determinados de la escala del ocular a lo largo del recorrido fijado, un «top» lanzado por él previene a los observadores de potencial para que éstos hagan simultáneamente su lectura. De este modo, realizados a intervalos regulares durante todo el tiempo que exige una determinación de conductibilidad, se tiene en cada punto un conjunto de determinaciones de V cuyo valor medio se hace corresponder con el de λ . Por otra parte, además, la simultaneidad de las lecturas de potencial queda asegurada limitándose a leer la posición de uno sólo de los hilos del electrómetro correspondiente para el cual fué previamente calibrado.

Como hemos dicho, la conductibilidad fué medida unas veces siguiendo el método de descarga y otras por el método de cero. En el primer caso, el alto valor de 80 ó 90 voltios de potencial requerido por el electrodo interior del aparato de Gerdien impide el empleo de electrómetros de gran sensibilidad, como el monofilar de Wulf, y obliga a utilizar el bifilar, con lo que el tiempo que exige la determinación para alcanzar una precisión conveniente se eleva a

cuatro minutos. En cambio, cuando se opera por el método de carga la medida es mucho más rápida. Como el potencial del órgano móvil del electrómetro parte de cero, el empleo del monofilar de Wulf permite trabajar en condiciones de sensibilidad muy grandes y reducir paralelamente el tiempo de la determinación. En estas condiciones, aún en el caso del método de descarga, la conductibilidad polar no es nunca afectada por un error experimental superior al 2 %. Con el método de cero, que fué el preferentemente empleado, la precisión es mayor.

Por lo que respecta al potencial del aire, la sensibilidad de los electrómetros utilizados, mantenidos en condiciones de sequedad convenientes mediante el empleo sistemático de cápsulas con anhídrido fosfórico, permite asegurar su valor con la aproximación de algunas décimas de voltio.

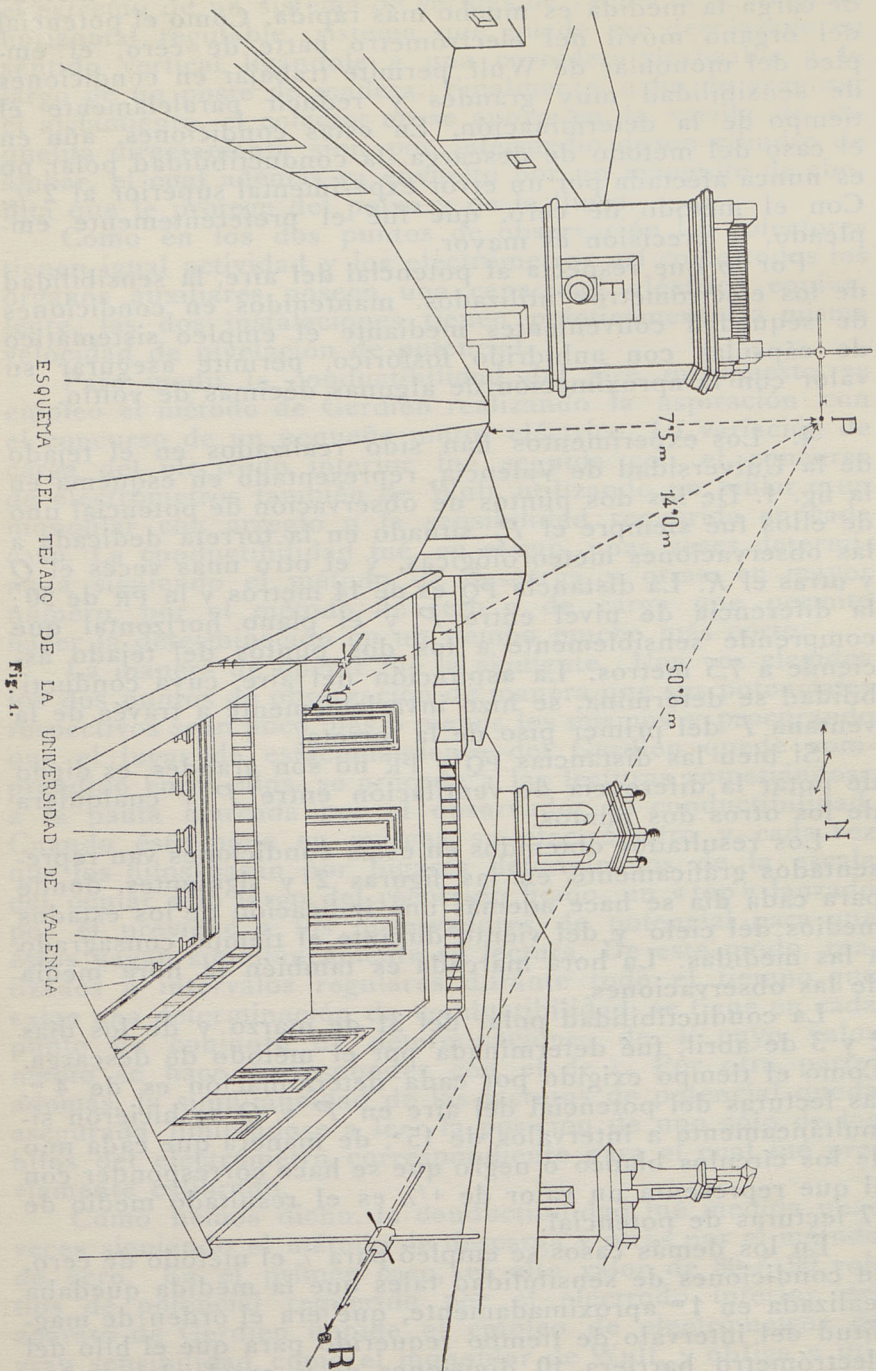
4. Los experimentos han sido realizados en el tejado de la Universidad de Valencia, representado en esquema en la fig. 1. De los dos puntos de observación de potencial uno de ellos fué siempre el P , situado en la torreta dedicada a las observaciones meteorológicas, y el otro unas veces el Q y otras el R . La distancia \overline{PQ} es de 14 metros y la \overline{PR} de 50; la diferencia de nivel entre P y el plano horizontal que comprende sensiblemente a los dos puntos del tejado asciende a 7,5 metros. La aspiración del aire, cuya conductibilidad se determina, se hizo invariablemente a través de la ventana F del primer piso de la torreta.

Si bien las distancias \overline{PQ} y \overline{PR} no son grandes, es digno de notar la diferencia de ventilación entre P y cualquiera de los otros dos puntos.

Los resultados obtenidos en estas condiciones van representados gráficamente en las figuras 2 y siguientes, donde para cada día se hace además una indicación de los estados medios del cielo y del viento durante el tiempo consagrado a las medidas. La hora marcada es también la hora media de las observaciones.

La conductibilidad polar del 31 de marzo y de los días 2 y 3 de abril, fué determinada por el método de descarga. Como el tiempo exigido por cada determinación es de 4^m, las lecturas del potencial del aire en P y Q se hicieron simultáneamente a intervalos de 15^s, de manera que cada uno de los círculos blanco o negro que se hace corresponder con el que representa un valor de $1/\lambda$ es el resultado medio de 17 lecturas de potencial.

En los demás casos se empleó para λ el método de cero, en condiciones de sensibilidad tales que la medida quedaba realizada en 1^m aproximadamente, que era el orden de magnitud del intervalo de tiempo requerido para que el hilo del electrómetro barriera 10 divisiones de la escala del ocular. Las lecturas en P y R se hacían al paso del hilo por las divisiones, así que ahora cada uno de los círculos de potencial representa la media de 10 determinaciones.



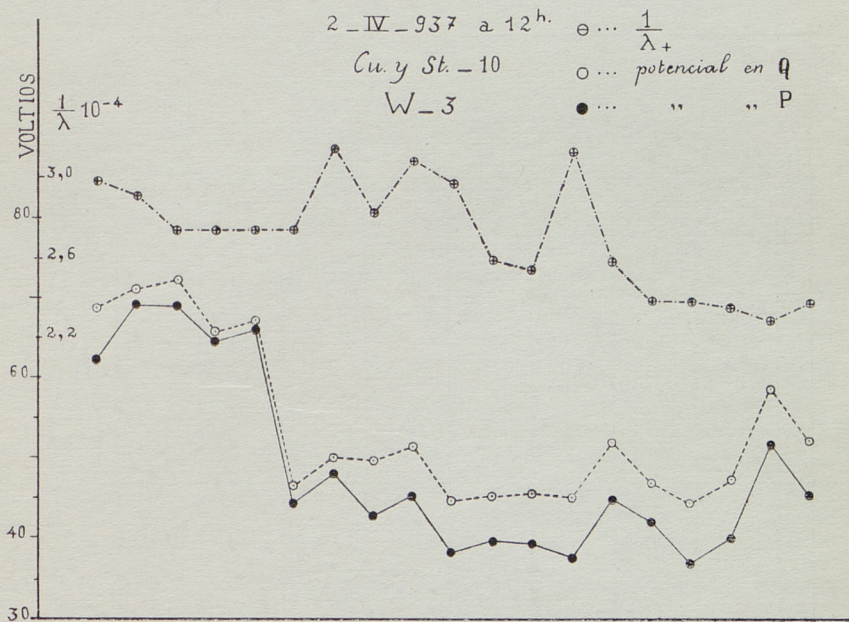
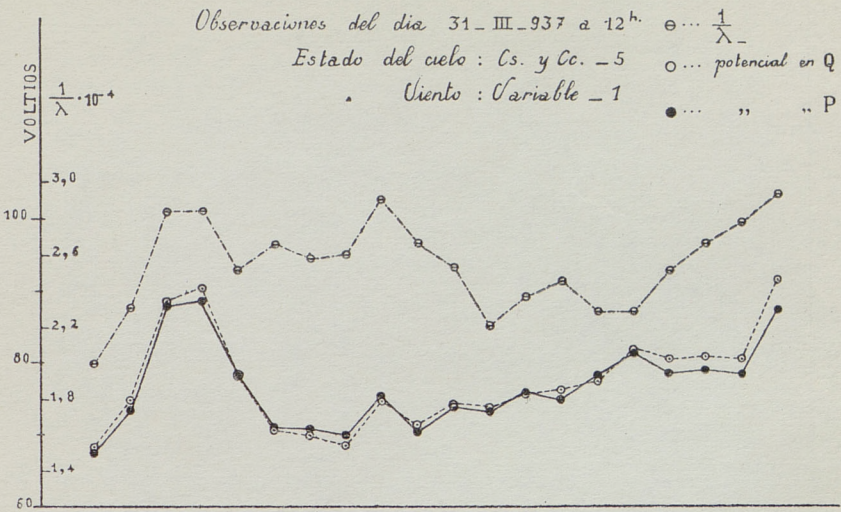
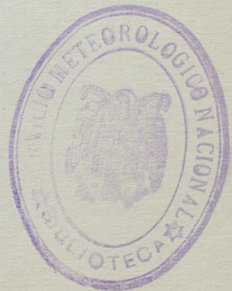


Fig. 2.



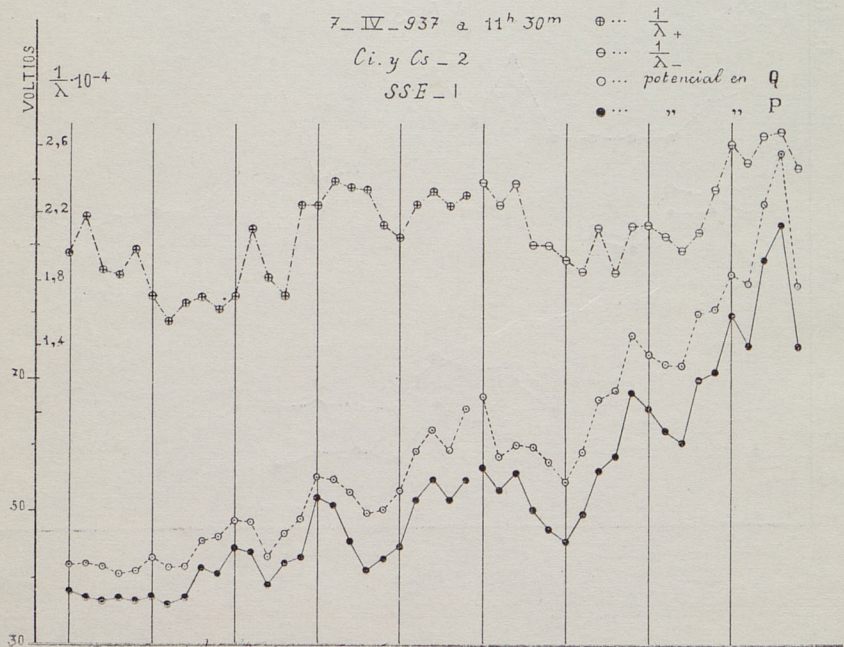
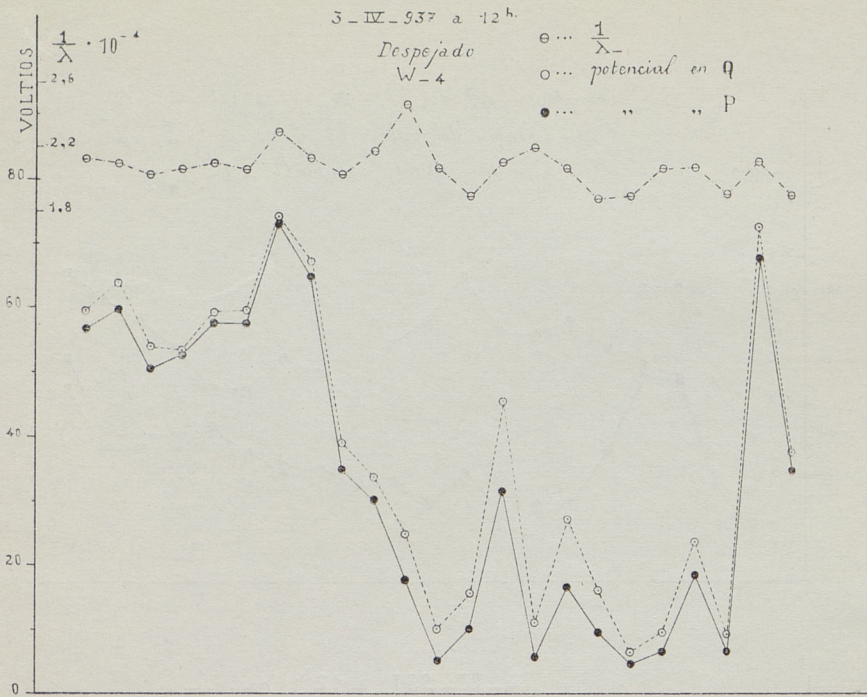


Fig. 3.

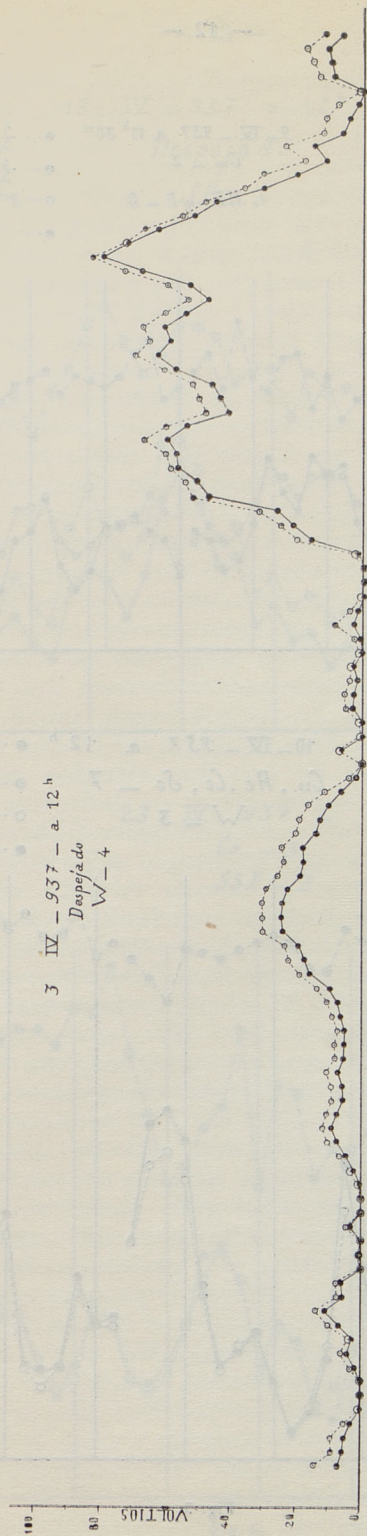


Fig. 4.

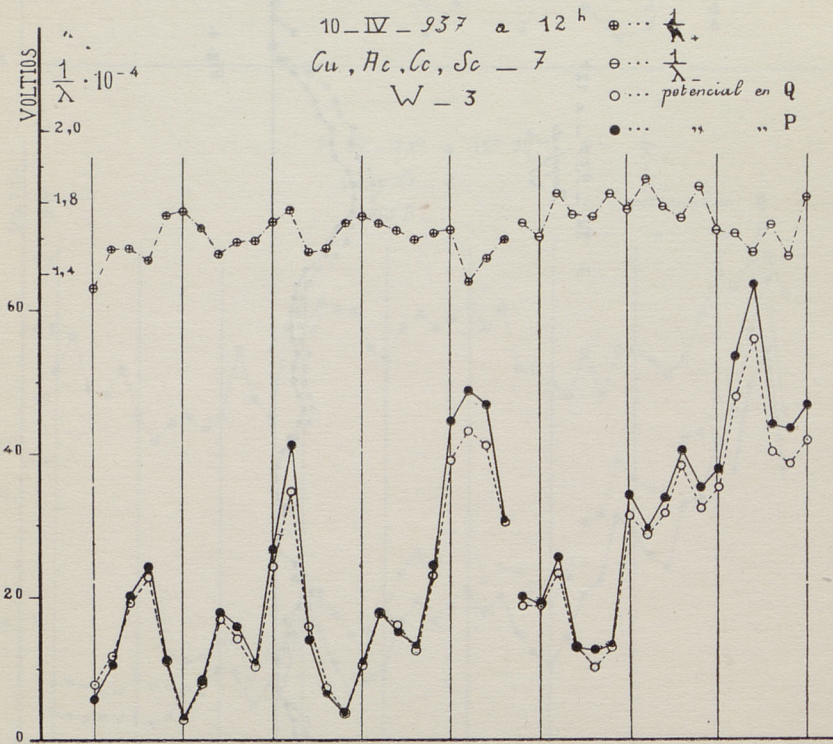
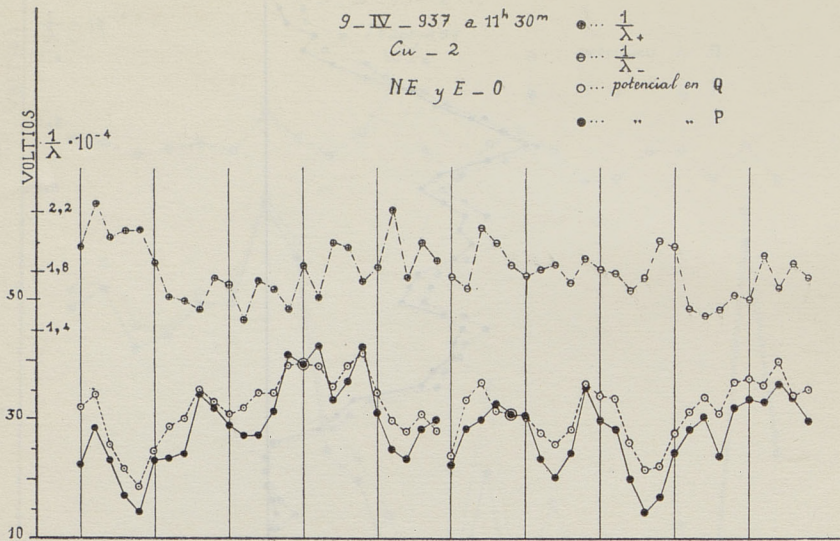


Fig. 5.

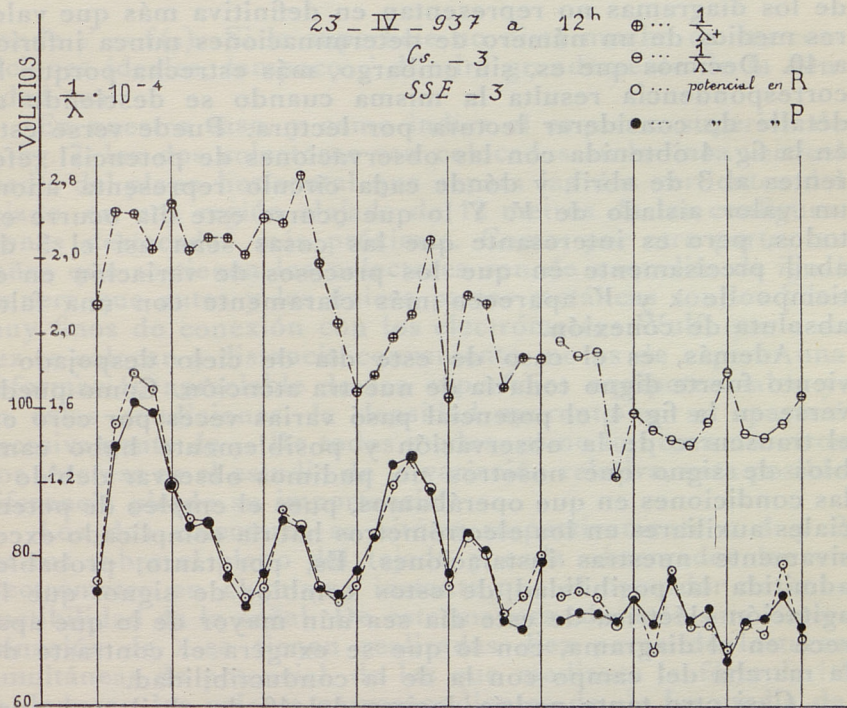
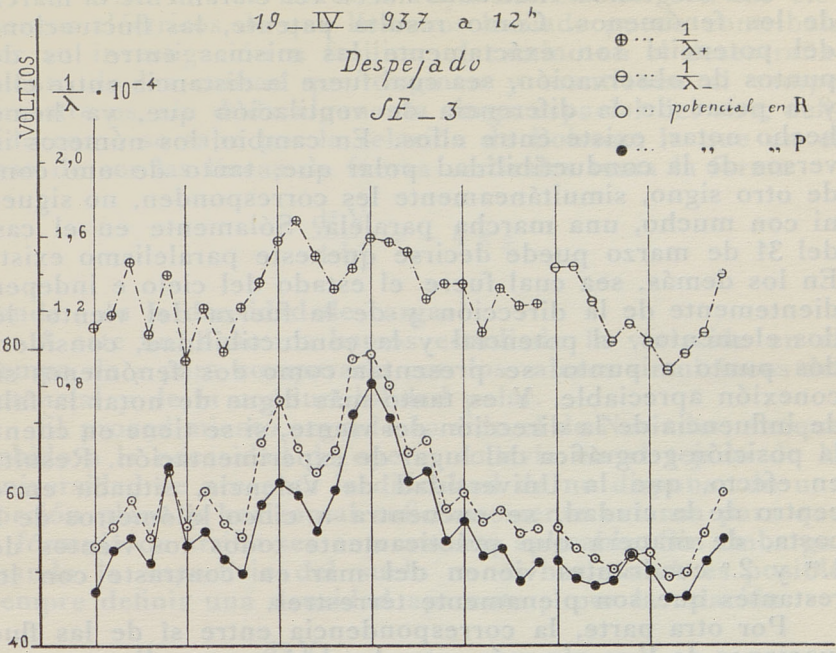


Fig. 6.

Los diagramas indicados hacen ver claramente la marcha de los fenómenos. Como resulta patente, las fluctuaciones del potencial son exactamente las mismas entre los dos puntos de observación, sea cual fuere la distancia entre ellos y a pesar de la diferencia de ventilación que, ya hemos hecho notar, existe entre ellos. En cambio, los números inversos de la conductibilidad polar que, tanto de uno como de otro signo, simultáneamente les corresponden, no siguen, ni con mucho, una marcha paralela. Sólomente en el caso del 31 de marzo puede decirse que este paralelismo existe. En los demás, sea cual fuere el estado del cielo e independientemente de la dirección y de la fuerza del viento, los dos elementos, el potencial y la conductibilidad, considerados punto a punto, se presentan como dos fenómenos sin conexión apreciable. Y es tanto más digna de notar la falta de influencia de la dirección del viento, si se tiene en cuenta la posición geográfica del lugar de experimentación. Resulta, en efecto, que la Universidad de Valencia, situada en el centro de la ciudad, se encuentra a cinco kilómetros de la costa, de manera que prácticamente todos los vientos del 1.^{er} y 2.^o cuadrantes vienen del mar en contraste con los restantes que son plenamente terrestres.

Por otra parte, la correspondencia entre sí de las fluctuaciones de V es aún más estrecha de lo que pudiera creerse ante la consideración de que los círculos correspondientes de los diagramas no representan en definitiva más que valores medios de un número de determinaciones nunca inferior a 10. Decimos que es, sin embargo, más estrecha porque la correspondencia resulta la misma cuando se desciende al detalle de considerar lectura por lectura. Puede verse esto en la fig. 4 obtenida con las observaciones de potencial referentes al 3 de abril, y dónde cada círculo representa ahora un valor aislado de V . Y lo que ocurre este día ocurre en todos, pero es interesante que las cosas sean así el 3 de abril precisamente en que los procesos de variación en el tiempo de λ y V aparecen más claramente con una falta absoluta de conexión.

Además, es el caso de este día de cielo despejado y viento fuerte digno todavía de nuestra atención. Como puede verse en la fig. 4, el potencial pasó varias veces por cero en el transcurso de la observación y posiblemente hubo cambios de signo que nosotros no pudimos observar debido a las condiciones en que operábamos, pues el empleo de potenciales auxiliares en los electrómetros habría complicado excesivamente nuestras instalaciones. Es, por tanto, probable, admitida la posibilidad de estos cambios de signo, que la agitación eléctrica de este día sea aún mayor de lo que aparece en el diagrama, con lo que se exagera el contraste de la marcha del campo con la de la conductibilidad.

Casi otro tanto podría decirse del 10 de abril que aparece en la fig. 5, aunque el estado del cielo este día es muy diferente.

5. Otro de los factores, cuya correlación con los elementos eléctricos de que llevamos hablado puede contribuir por su investigación a facilitar el camino en el desentrañamiento de las causas que originan y mantienen el campo terrestre es, sin duda alguna, la carga espacial del aire, definida como se sabe por la relación de Poisson, la que en el caso de ser las líneas de fuerza verticales toma la forma

$$\frac{d^2 V}{d h^2} = - 4 \pi \rho$$

donde ρ es la densidad de carga.

A este fin, nosotros hemos estudiado la variación en el tiempo de ρ para compararla con los valores simultáneos del potencial y de la conductibilidad polar.

El procedimiento seguido ha sido el de Norinder, aunque debido a la necesidad de operar todavía en el tejado de la Universidad se presenta la dificultad de no disponer de una porción plana y horizontal suficientemente extensa para que la fórmula de arriba sea enteramente aplicable. Sin embargo, cuando la superficie del suelo no es horizontal, es posible siempre definir una densidad aparente ρ' por la relación

$$\frac{d^2 V}{d h^2} = - 4 \pi \rho' \quad [1]$$

donde $\rho' = f(\rho)$. Si la superficie no dista mucho de las condiciones ideales, tampoco ρ' diferirá grandemente de la densidad real.

En nuestro caso, y como indica el esquema superior de la fig. 7, los dos colectores van colocados en la línea vertical media del plano horizontal que separa las dos vertientes del tejado, en una región alejada de 12 metros de las configuraciones destacadas más próximas. Como, por otra parte, las cañas que sostienen los colectores son de vaquelita de igual manera que antes y las únicas partes metálicas son los hilos muy finos de conexión con los electrómetros Wulf, que a su vez se colocan a distancia conveniente, no es de esperar una deformación apreciable de las superficies equipotenciales y, en estas condiciones, la densidad aparente no se apartará excesivamente de ρ . De todos modos, como lo que a nosotros nos interesa es el estudio de la variación relativa, esta posible diferencia pierde su importancia.

Los dos colectores se sitúan respectivamente a 1 y 2 metros sobre el plano del tejado y cada observador lee su electrómetro en el mismo instante que el operador de conductibilidad da la señal. De esta manera, durante una determinación de λ se tienen realizadas diez pares de lecturas simultáneas de potencial, de las que mediante la fórmula [1] se deducen los valores correspondientes de ρ' . La media de estas diez determinaciones es la que se hace corresponder con la de λ .

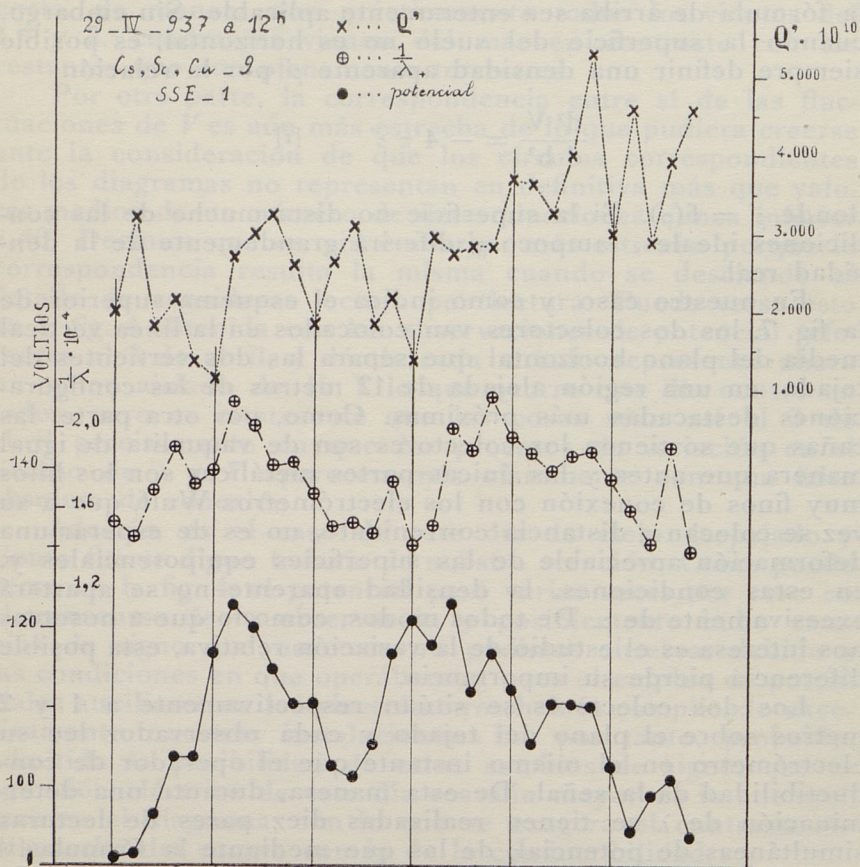
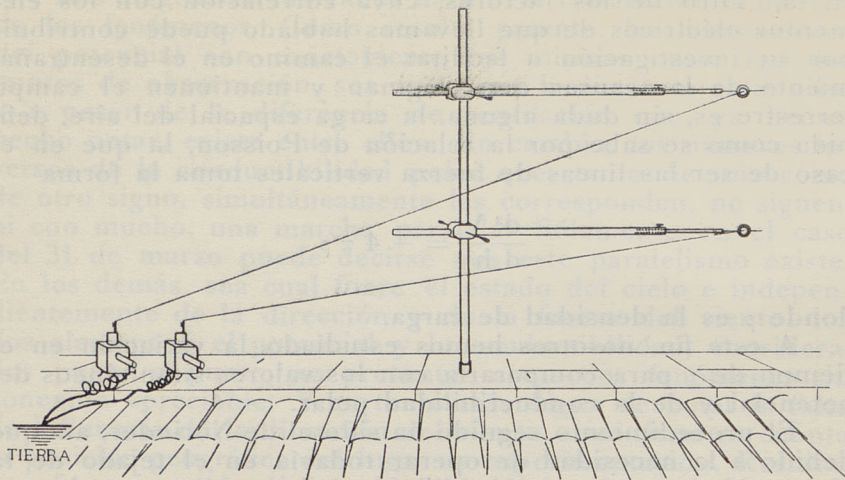


Fig. 7.

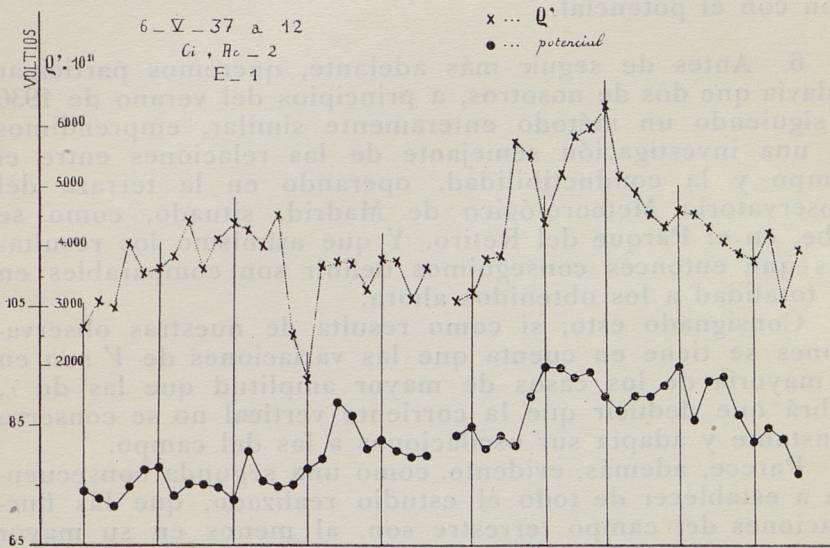
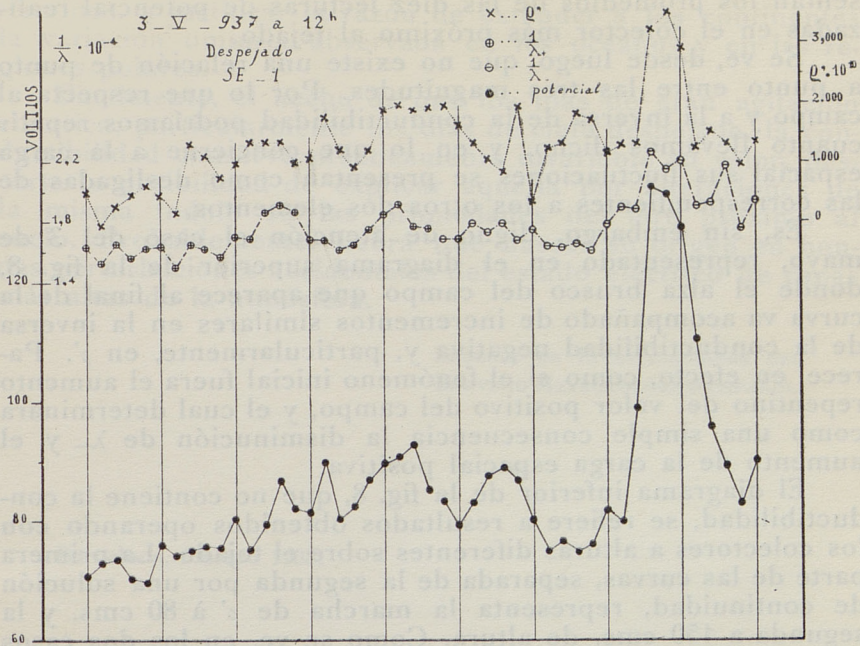


Fig. 8.

Los resultados obtenidos van contenidos en los diagramas de las figuras 7 y 8. En ellos, los círculos negros representan los promedios de las diez lecturas de potencial realizadas en el colector más próximo al tejado.

Se ve, desde luego, que no existe una relación de punto a punto entre las tres magnitudes. Por lo que respecta al campo y a la inversa de la conductibilidad podríamos repetir cuanto llevamos dicho, y en lo que concierne a la carga espacial sus fluctuaciones se presentan como desligadas de las correspondientes a los otros dos elementos.

Es, sin embargo, digno de atención el caso del 3 de mayo, representado en el diagrama superior de la fig. 8, donde el alza brusco del campo que aparece al final de la curva va acompañado de incrementos similares en la inversa de la conductibilidad negativa y, particularmente, en ρ' . Parece, en efecto, como si el fenómeno inicial fuera el aumento repentino del valor positivo del campo, y el cual determinara como una simple consecuencia la disminución de λ_- y el aumento de la carga espacial positiva.

El diagrama inferior de la fig. 8, que no contiene la conductibilidad, se refiere a resultados obtenidos operando con los colectores a alturas diferentes sobre el tejado. La primera parte de las curvas, separada de la segunda por una solución de continuidad, representa la marcha de ρ' a 80 cms. y la segunda a 150 cms. de altura. Como se ve, en los dos casos el signo y las fluctuaciones de la densidad son del mismo sentido, tanto si se consideran en sí mismas como en su relación con el potencial.

6. Antes de seguir más adelante, queremos participar todavía que dos de nosotros, a principios del verano de 1936 y siguiendo un método enteramente similar, emprendimos ya una investigación semejante de las relaciones entre el campo y la conductibilidad, operando en la terraza del Observatorio Meteorológico de Madrid, situado, como se sabe, en el Parque del Retiro. Y que asimismo los resultados que entonces conseguimos definir son comparables en su totalidad a los obtenidos ahora.

Consignado esto, si como resulta de nuestras observaciones se tiene en cuenta que las variaciones de V son en la mayoría de los casos de mayor amplitud que las de λ , habrá que deducir que la corriente vertical no se conserva constante y adapta sus oscilaciones a las del campo.

Parece, además, evidente, como una segunda consecuencia a establecer de todo el estudio realizado, que las fluctuaciones del campo terrestre son, al menos en su mayor parte, manifestaciones propias de su naturaleza misma, ya que de otro modo no sabría explicarse, por un lado, su perfecto sincronismo en dos puntos alejados y meteorológicamente distintos, y, por otro, la falta de dependencia que presentan casi siempre con las propiedades del aire.

La existencia así demostrada de estas variaciones intrínsecas del campo equivale a autorizar la extensión o, en otros términos, a justificar la razón de extender a los continentes la variación unitaria observada en los océanos y en las regiones polares.

Finalmente, el hecho de que los días de gran agitación eléctrica, particularmente los días de cielo despejado, la conductibilidad conserve prácticamente invariable su valor, descarta la posibilidad de explicar aquella por alteraciones de la misma índole en las propiedades del aire próximo al suelo. Probablemente, habrá que buscar su origen en hondas perturbaciones accidentales del estado eléctrico de capas más altas de la atmósfera.

SECCIÓN DE INVESTIGACIONES DEL
SERVICIO METEOROLÓGICO ESPAÑOL.

Barcelona, febrero 1938.

